

压敏电阻加速老化寿命试验的研究

Research on Accelerated Life Testing of Varistor

颜健¹, 刘树英¹, 吕继彬¹, 禡柱全¹, David Zhang²

¹东莞令特电子有限公司 东莞 523925

²Littelfuse Chicago USA 60631

摘要: 研究了压敏电阻在不同温度的直流负载老化试验的寿命关系。试验使用三种不同环氧树脂粉末包封的压敏电阻样品, 分别在 125°C 和 150°C 高温直流负载下出现失效的最小寿命时间, 将两者寿命的比例称为加速因子, 在统计分析软件 Minitab 中分析处理试验数据, 并运用了正态检验、基本统计量分析、样本均值与个体的置信区间的转换、95% 置信度预测下限值等方法。试验结果显示, 不同包封材料在 125°C 和 150°C 高温直流负载的加速因子约为 6-9。实际生产中使用加速因子, 老化寿命试验可以从原来的 125°C 负载 1000 小时缩短到 150°C 负载 168 小时甚至更少, 极大地节省了试验时间, 提高生产效率。

关键词: 压敏电阻, 加速老化寿命, 加速因子, 测量方法

1 引言

压敏电阻的环境性能试验, 一般包括直流负载老化、交流负载老化、温湿试验、高低温循环和高温存储, 直流负载老化试验最难以通过, 试验时间都需要 1000 小时甚至更长, 长期占用实验室烤箱等资源, 增加了产品开发、工艺变更和出货检验的周期, 降低生产效率。

在老化寿命试验中, 当温度应力作为主要加速因素时, 常使用阿列尼乌斯模型, 其经验公式为:

$$\ln L = A + \frac{Ea}{KT} \quad (1)$$

式中 t 为器件老化寿命, A 为常数, Ea 为激活能, K 为玻尔兹曼常数, T 为热力学温度。经过公式 (1) 的变换, 可以得到公式 (2):

$$\tau = \frac{L0}{L1} = e^{\left[\frac{Ea}{K} \left(\frac{1}{T0} - \frac{1}{T1}\right)\right]} \quad (2)$$

式中 τ 为加速因子, $L0$ 和 $L1$ 分别是期间在温度 $T0$ 和 $T1$ 进行老化试验的寿命, 由此可得加速因子主要由器件材料本身激活能所决定。

压敏电阻的老化寿命通常由压敏陶瓷片和包封材料所决定。本研究使用的高性能配方压敏陶瓷, 使用耐高温树脂材料包封后, 能在 125°C 高温直流负载连续 5000 小时不出现失效。因此, 本研究使用的三种环氧树脂包封材料将决定压敏电阻的老化寿命。

在一组压敏电阻样品的老化寿命数据里, 相对于平均寿命, 客户更关注最小寿命, 即 N 个样品在试验中最先出现失效的时间。这关系到生产商给客户承诺的产品使用寿命。

本研究通过试验计算, 得出不同包封材料在 125°C 和 150°C 高温直流负载的加速因子, 可以用于指导实际生产

工作, 缩短老化寿命试验的时间, 极大地提高生产效率。

2 实验

在生产线上制备一批压敏陶瓷片, 直径约为 20mm, 压敏电压约为 1100V, 即额定直流工作电压为 895V; 丝网印刷银浆电极 16.5mm, 在银片表面焊接上直径 1mm 的电极引线。从焊接片中随机取 600 片, 平均分成三组用作不同环氧树脂包封粉 A、B 和 C 高温负载实验, 每组 200 片; 得到的压敏电阻样品分别称为样品 A、样品 B、样品 C。

将样品 A 平均分成十组, 每组 20 片, 其中五组放进 125°C 环境试验烤箱, 剩下五组放进 150°C 环境试验烤箱, 两组都加上负载额定直流工作电压 895V, 同时开始老化寿命试验。以起火燃烧外观损坏或压敏电压变化率超过 $\pm 10\%$ 为失效判定依据, 记录每组 20 片样品中最先出现失效的时间, 得到十个数据。

样品 B、样品 C 同样进行上述老化寿命试验, 记录失效时间数据。

3 结果与分析

表 1 是样品 A 分别在 125°C 和 150°C 高温直流负载 895V 老化试验的最短寿命。十个数据分别记为: L125-1、L125-2、L125-3、L125-4、L125-5、L150-1、L150-2、L150-3、L150-4、L150-5。其中, L125-2 的 1680 偏离其他四组数据较多, 初步怀疑其属于异常点数据, 剩下四个数据的平均值为 Avg, 标准差记为 StdEv, 则 $Avg - 3 \times StdEv = 1830$, 大于 1680, 所以 1680 是异常值, 超出了平均值减去三倍标准差的范围, 可以用 1830 去替代, 因此可得到表 2。

表1 样品A在125℃和150℃直流负载895V

老化试验最短寿命原始数据

组号	125℃最小寿命 / 小时	150℃最小寿命 / 小时
1	3272	240
2	1680	240
3	2856	288
4	2640	288
5	2520	312

表2 样品A在125℃和150℃直流负载895V

老化试验最短寿命处理后数据

组号	125℃最小寿命 / 小时	150℃最小寿命 / 小时
1	3272	240
2	1830	240
3	2856	288
4	2640	288
5	2520	312

将表2数据分别代入公式(2)，得到25个加速因子数据，如表3。在Minitab中对加速因子进行基本统计量的图形化汇总分析，得到图1。如图可知，Anderson-Darling正态检验的P值为0.875，远大于0.05，试验样本数据服从正态分布；样本均值为9.6984，样本均值的95%置信度的区间为(8.8388, 10.5579)，样本标准差为2.0832。由Minitab可以得到左边单边95%置信度的标准正态分布图，如图2所示，临界值Z为1.645；用样本均值减去Z倍的标准差，得到加速因子个体分布左边单边95%置信度的置信区间下限值，即 $9.6984 - 1.645 \times 2.0832 = 6.273$ 。当样品A在能150℃直流负载下工作 $1000 / 6.273 = 160$ 小时，则有95%的信心保证其能在125℃直流负载下工作1000小时。

表3 样品A计算所得加速因子

序号	125℃最小寿命 / 小时	150℃最小寿命 / 小时	加速因子
1.1	3272	240	13.6
1.2	3272	240	13.6
1.3	3272	288	11.4
1.4	3272	288	11.4
1.5	3272	312	10.5
2.1	1830	240	7.6
2.2	1830	240	7.6
2.3	1830	288	6.4
2.4	1830	288	6.4
2.5	1830	312	5.9
3.1	2856	240	11.9
3.2	2856	240	11.9
3.3	2856	288	9.9

(接表3)

序号	125℃最小寿命 / 小时	150℃最小寿命 / 小时	加速因子
3.4	2856	288	9.9
3.5	2856	312	9.2
4.1	2640	240	11.0
4.2	2640	240	11.0
4.3	2640	288	9.2
4.4	2640	288	9.2
4.5	2640	312	8.5
5.1	2520	240	10.5
5.2	2520	240	10.5
5.3	2520	288	8.8
5.4	2520	288	8.8
5.5	2520	312	8.1

表4和表5分别示出样品B、样品C在125℃和150℃直流负载895V老化试验最短寿命原始数据。同样采用上述分析处理方法，可以分别得到加速因子下限值和对应125℃工作1000小时的150℃工作寿命，如表6。由此表可知，三组样品的加速因子约为6~9。尽管三种封装粉的工作寿命差异很大，但试验得到的加速因子并没有太大的不同，也进一步证明本方法的可行性。

表4 样品B在125℃和150℃直流负载895V

老化试验最短寿命原始数据

组号	125℃最小寿命 / 小时	150℃最小寿命 / 小时
1	690	48
2	550	50
3	720	54
4	760	53
5	800	30

表5 样品C在125℃和150℃直流负载895V

老化试验最短寿命原始数据

组号	125℃最小寿命 / 小时	150℃最小寿命 / 小时
1	5.3	0.5
2	4.9	0.5
3	3.7	0.4
4	4.2	1.1
5	5.8	0.5

表6 样品A、样品B、样品C在125℃和150℃的加速因子及对应工作寿命

样品组	加速因子	125℃负载1000小时对应150℃的最小寿命 / 小时
A	6.273	160
B	8.341	120
C	6.457	155

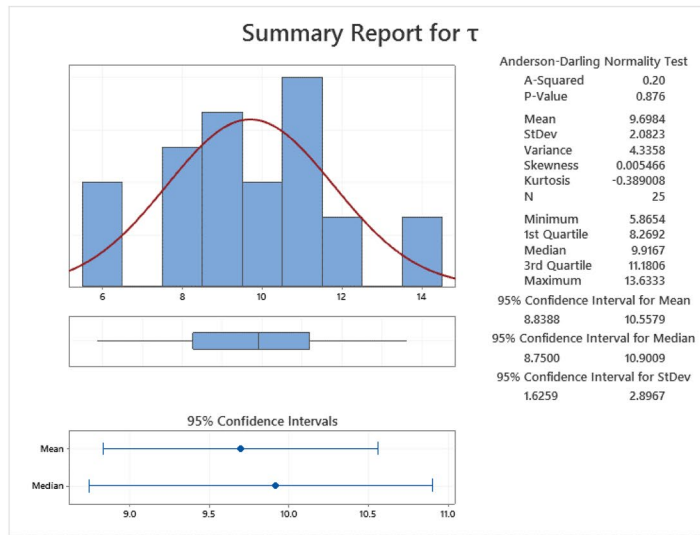


图 1 加速因子 τ 的基本统计量图形化汇总

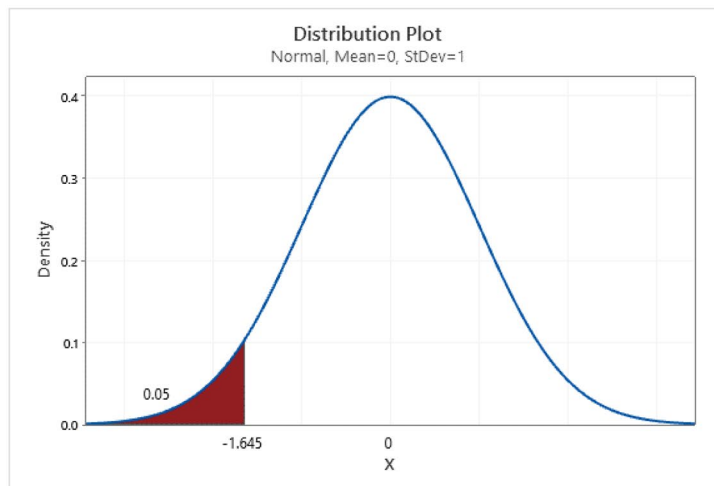


图 2 左边单边 95% 置信度的标准正态分布图

此外，在试验过程中，记录了样品 A 的五组 100 颗压敏电阻在 125°C 高温直流负载的寿命，如表 7。计算得到样本寿命均值为 3026.6 小时，标准差为 275.5 小时，均

值减去六倍标准差为 1372.3 小时，大于行业标准 1000 小时，即样品 A 可以做到 6 Sigma 标准生产水平。

下转32页